

**COMPRÉHENSION ET RECHERCHE DE SOLUTIONS AU PROBLÈME DU  
GAUCHISSEMENT DE LA TIGE DE L'ÉPINETTE NOIRE:  
RAPPORT FINAL**

par

Daniel Lord  
Département des Sciences Fondamentales et  
Groupe de Recherche en Productivité Végétale  
Université du Québec à Chicoutimi  
Chicoutimi (Québec) G7H 2B1

Projet RDC 661-067/86  
Programme Recherche et Développement coopératives (RDC)  
Conseil de Recherches en Sciences Naturelles et en Génie.

Soumis à: Mme Lise Laforce, administratrice  
programme de partenariats de recherche  
Conseil de Recherche en Sciences Naturelles et en Génie.

Dr. Charles-Gilles Langlois, ing. for.  
agent de liaison du projet  
Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec.

M. Fernando Lavoie, directeur général  
Coopérative forestière de Ferland-Boilleau.

M. Jacques Verrier, directeur général  
Coopérative forestière de Girardville.

M. Fernand Miron, directeur général  
Serres coopératives de Guyenne

Équipe UQAC: M. Jacques Allaire  
Mme Dominique Arsenault  
Mme Janine Bissonnette  
Mme Hélène Brousseau  
M. Carl-Éric Gagné  
M. Daniel Gagnon  
M. Sylvain Morissette  
Mme Danielle Pilote  
Mme René Tremblay  
Mme Gilda Villeneuve  
M. Denis Walsh

Équipe COOP: M. Jean-Marc Lavoie  
M. Camil Maltais  
Mme Line Martin  
Mme Nancy Tanguay

Mars 1989

## **INTRODUCTION**

L'un des thèmes du Groupe de Recherche en Productivité Végétale (GRPV) de l'université du Québec à Chicoutimi (UQAC) concerne la dynamique et les méthodes de régénération de la forêt boréale commerciale. L'un des sous-programmes de recherche associés à ce thème a trait à la production de plants pour le reboisement, le reboisement étant l'un des outils privilégiés au Québec pour régénérer la forêt boréale commerciale après une perturbation plus souvent qu'autrement de type anthropique (essentiellement une coupe). L'objectif de ce sous-programme est d'étudier la possibilité d'introduire de nouveaux modes de production de plants pour le reboisement et d'améliorer les techniques actuellement utilisées. Les ressources humaines et financières associées au sous-programme ont obligé l'équipe de recherche de l'UQAC à diriger leurs efforts vers l'amélioration des techniques de production, et de concentrer leurs travaux de recherche autour d'un aspect très spécifique, soit le gauchissement de la tige de l'épinette noire.

Une proportion significative de semis d'épinette noire cultivés en récipients sous abris est affectée par divers défauts de croissance à la tige. Se regroupant tous sous le nom de gauchissement de la tige, ces défauts peuvent grandement affecter la morphologie d'un plant et conduire à sa déclassification pour le reboisement, donc à une perte nette pour le producteur et pour l'opération reboisement. Présente surtout dans la culture d'hiver en serres, le gauchissement apparaît aussi en d'autres saisons de production et chez d'autres espèces. Notre travail a pour but d'identifier les facteurs en cause dans ce problème de production, puis de trouver une solution qui permettrait de réduire l'importance du gauchissement de la tige de l'épinette noire. Ce rapport final a pour objectif de faire le point sur les derniers 24 mois de travail sur ce sujet, de présenter les résultats obtenus à date et d'identifier les avenues de travail les plus probables.

Le document est divisée en quatre sections. Un bref rappel sur ce qu'est le gauchissement constitue la première section. Elle est suivie par la présentation du plan initial du projet soumis par l'équipe de l'UQAC pour étudier le gauchissement de la tige de l'épinette noire, plan qui privilégie l'approfondissement de trois avenues spécifiques. La plus grande partie du document verra à expliquer les expériences réalisées depuis janvier 1987, le tout présenté en termes d'objectifs de recherche poursuivis et de résultats préliminaires obtenus pour chacune de ces expériences. Nous évaluerons ensuite la pertinence de poursuivre les travaux sur chacune des avenues choisies au départ, puis nous décrirons l'une des nouvelles voies qu'entend suivre ce projet à court terme.

## **1. QU'EST CE QUE LE GAUCHISSEMENT**

Le gauchissement de la tige de l'épinette noire est un défaut de croissance peu documenté qui est généralement absent en conditions naturelles, probablement parce que le plant croissant sous ces conditions prend de trois à quatre ans pour atteindre une hauteur que les producteurs obtiennent en une saison de croissance en récipients. En 1987, la définition la plus courante du gauchissement était la suivante:

Le gauchissement de la tige est un défaut de croissance qui apparaît chez l'épinette noire au-dessus de 70 à 80 mm de hauteur sur la tige lorsque le plant croît trop rapidement, soit plus de 13 mm/semaine (Langlois 1984). La croissance trop rapide résulte en une verse au cours

des semaines qui suivent l'amorce de la lignification de la tige, verse qui est probablement reliée à une faiblesse de la capacité de support de la tige ou de l'hypocotyle (Miron 1985).

Plus souvent qu'autrement, les gens parlaient alors d'étiollement de la tige. Cependant, ce terme ne correspond pas parfaitement à la réalité exprimée, un plant étiolé étant un plant très allongé et jaune pâle (Devlin et Witham 1983). Gauchir voulant dire "subir une déviation ou une torsion, perdre sa forme", le terme gauchissement apparaît plus approprié pour exprimer le défaut retrouvé en conditions de production.

Certaines exceptions à la définition proposée ci-haut ont été retrouvées au cours de nos travaux. Par exemple, certaines façons de régir les conditions environnementales ont amené des populations de plants à atteindre, juste avant la période de mise en dormance, une vitesse de croissance de plus de 15 à 20 mm/semaine, sans que ces populations ne montrent un taux de gauchissement significativement plus élevé que des populations à croissance plus lente. Ces façons de régir les plants ont même abaissé le taux de gauchissement dans certaines expériences!

En conditions commerciales hivernales, les premiers plants versés apparaissent vers la huitième semaine après le semis, le maximum étant atteint vers la treizième semaine; la susceptibilité des plants au gauchissement diminue dès lors jusqu'à la fin de la production. De 10 à 70% des plants, dépendamment des années, sont affectés, au moins temporairement, par ce défaut de croissance. Le résultat final, quant à lui, oscille généralement entre 5 et 20%, un certain redressement s'effectuant suite à la verse; les plants ont alors tendance à diriger leur tête vers la source de lumière naturelle et/ou de lumière artificielle si cette dernière est assez intense. Cependant, le plant redressé montre souvent des malformations plus ou moins importantes dans sa tige. L'importance du défaut varie alors d'un individu à l'autre. De plus, il arrive que ces plants ne soient pas en mesure de récupérer le retard de croissance pris sur les plants qui n'ont pas ou qui ont très peu versé, ce qui résulte en un système racinaire moins bien formé, une tige plus délicate, un feuillage moins dense et/ou une partie aérienne plus courte; en somme, des plants dont l'ensemble apparaît de moins bonne qualité. Le défaut obtenu suite au redressement de la tige du plant versé prend différentes formes --spiralisation, tige en forme d'escalier, plant couché, etc.-- qui seront toutes regroupées sous le vocable gauchissement dans ce document.

### Solutions pour prévenir le gauchissement en 1987

La solution préconisée en 1987 pour contrer le problème du gauchissement consiste à réduire, durant la période critique, la croissance en hauteur de la tige; il faut favoriser la lignification en diminuant la fertilisation azotée, les arrosages et la température de nuit, tout en accroissant la ventilation (Langlois 1984). Selon certains producteurs, cette solution est difficilement applicable et ne donne pas toujours les résultats escomptés (Miron 1985). De plus, elle signifie possiblement une photosynthèse réduite, ce qui peut affecter négativement la croissance de tous les organes constituant un plant d'épinette noire, alors que seule la réduction de la croissance en hauteur ou l'augmentation du diamètre de la tige est recherchée. Sous ces conditions réduites, les plants ne peuvent tirer profit de tout le potentiel de croissance et de développement que crée --à un coût très élevé-- la culture en tunnel ou, *a fortiori*, en serre. Ce ralentissement volontaire de croissance va à l'encontre même de l'objectif principal visé par l'utilisation d'abris, soit l'accélération des processus reliés à la croissance des plants. L'utilisation de tels abris et le développement d'une régie particulière de production peut en effet réduire le

temps requis pour obtenir des plants en récipients livrables pour le reboisement, puisqu'ils offrent des conditions environnementales qui peuvent amener le plant à exprimer la plus grande partie de son potentiel de croissance. Pour l'épinette noire, cependant, cette croissance accélérée est difficilement applicable, du moins jusqu'à ce qu'une solution au problème du gauchissement ne soit élaborée.

## **2. LE PROJET DE L'UOAC**

Le but du projet entrepris en janvier 1987 est de parfaire nos connaissances sur le problème du gauchissement de la tige de l'épinette noire et d'évaluer certaines solutions qui, dans l'état actuel de nos connaissances, apparaissent envisageables. L'atteinte de ce but signifie pour l'industrie: 1) une meilleure compréhension d'un phénomène biologique qui a des incidences économiques importantes sur la rentabilité de leurs investissements, 2) la définition d'une solution au moins partielle, sinon complète, pour contrôler ce phénomène et ainsi produire un ensemble de plants de meilleure qualité, et 3) une compétitivité accrue par une réduction substantielle des coûts de production.

Le niveau des connaissances touchant le gauchissement de la tige de l'épinette noire ne permettait pas en 1987 de privilégier une hypothèse de recherche préférentielle. Les observations visuelles, la connaissance de la régie de culture des plants en récipients pratiquée au Québec et l'expérience acquise à d'autres niveaux sur le mode de croissance et de développement des plants d'épinette noire nous ont guidé vers un nombre restreint d'avenues qui apparaissaient, à cette époque, plus prometteuses que d'autres. Nous nous proposons alors d'explorer les trois avenues suivantes (figure 1): le gauchissement de la tige de l'épinette noire est causé par 1) un hypocotyle trop fluet, 2) une allocation du carbone centrée vers la croissance en longueur de la tige, et 3) un environnement exempt de chocs environnementaux (vent). Dans chacune des trois avenues explorées se retrouve un certain nombre d'objets d'étude. Cependant, la pertinence d'approfondir chacun de ces objets dépend des résultats expérimentaux obtenus lors de l'exploration de chacune des avenues.

Il est à noter que nous avons volontairement laissé de côté les hypothèses touchant le milieu de culture comme tel (fertilisation, hydratation, compactage). Sans dire que nous n'y avons pas touché depuis le début du projet, le gros de nos efforts a plutôt porté sur d'autres aspects, car d'autres équipes de recherche travaillaient déjà et travaillent toujours sur l'aspect milieu de culture en relation avec la croissance et le développement de l'épinette noire. Nous avons aussi choisi de travailler exclusivement en serres avec des récipients de type IPL-67 cavités, entre autres parce que la production d'hiver sous ce type d'abri et avec ce type de récipients montre une sensibilité particulièrement élevée au problème du gauchissement.

Les longueurs de l'hypocotyle et de la tige, les diamètres à l'hypocotyle et au collet, les poids secs de la partie aérienne et des racines, le nombre de branches et de bourgeons et le pourcentage de gauchissement sont les paramètres qui ont été systématiquement mesurés sur tous les plants prélevés pour les divers échantillonnages. Pour la grande majorité des expériences décrites ci-après, un plant devient gauchi lorsque la courbure de la tige ou de l'hypocotyle atteint un angle de 15° ou plus par rapport à la verticale.

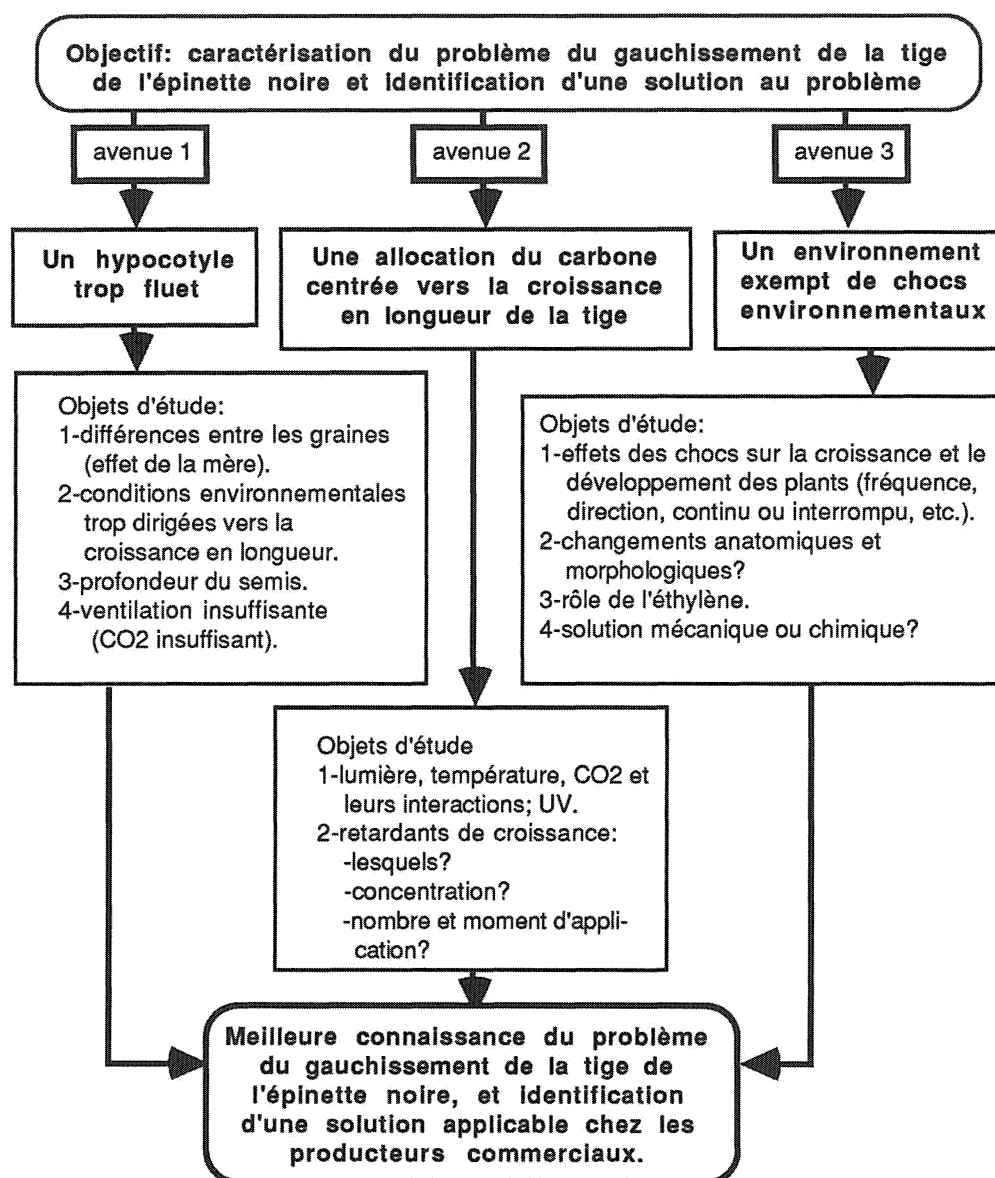


Figure 1: Projet de l'UQAC sur le gauchissement de la tige de l'épinette noire cultivée en récipients en serre.

### 3. RÉALISATIONS DEPUIS JANVIER 1987

#### 3.1 HYPOCOTYLE TROP FLUET

L'observation visuelle de la croissance et du développement d'un plant d'épinette noire en serre au cours des 20 semaines suivant la germination permet de supposer que le problème vient d'un hypocotyle trop long et insuffisamment développé en diamètre. En effet, l'hypocotyle

apparaît long, mince et délicat lorsque la tige commence à s'allonger au-dessus des cotyledons. Une étude de Boyer et South (1984) comparant la croissance de semis de *Pinus taeda* cultivés en serre et à l'extérieur a d'ailleurs démontré que ces derniers étaient plus courts, plus larges et mieux fournis en branches que les semis cultivés en serre.

Après plusieurs expériences, nous en sommes arrivé à la conclusion que le gauchissement n'est pas particulièrement relié à l'hypocotyle. En fait, les plants qui gauchissent le font presque toujours au niveau de la tige, bien au-dessus de l'hypocotyle (tableau 1). Le rapport moyen entre la hauteur où le plant gauchit pour la première fois et sa hauteur totale atteint donc 0.525, ce qui signifie que la première courbure apparaît le plus souvent légèrement au-dessus du point milieu de la tige.

TABLEAU 1: Évolution hebdomadaire de la moyenne du rapport entre la hauteur où un plant gauchit pour la première fois et sa hauteur totale au moment où ce défaut apparaît

<u>Semaine après le semis</u>	<u>Rapport</u>
7	0.513
8	0.514
9	0.469
10	0.527
11	0.585
12	0.573
13	0.523
14	0.498
Moyenne des 73 plants mesurés	0.525±0.04

La caractérisation précise du gauchissement sur une population de 160 plants sélectionnée au hasard (tableau 2) indique aussi que les déformations à l'hypocotyle n'expliquent pas la majeure partie des défauts retrouvés dans une population de plants gauchis. L'angle moyen des défauts reliés à l'hypocotyle ne dépasse pas 10°, alors que l'angle du défaut le plus prononcé atteint 60° en moyenne sur le plant (figure 2a). Quant à la tête de la tige, soit le dernier 30 mm du plant en moyenne, l'angle moyen de ses défauts fluctue entre 10 et 35°. Si le plant avait tendance à gauchir à l'hypocotyle avant tout, la moyenne de l'angle des défauts reliés à cette partie du plant se rapprocherait beaucoup plus de l'angle maximum moyen, même en fin de production. La figure 2a indique plutôt que la tête de la tige a plus tendance à gauchir que l'hypocotyle. Sur les 13920 mesures d'angles ayant servi à bâtir chacune des trois courbes de cette figure, l'angle de l'hypocotyle correspondait à l'angle maximum dans 7.4% des cas, alors que cette proportion grimpait à 17.9% pour l'angle de la tête de la tige. La figure 2a indique aussi que l'angle maximum sur un plant apparaît très rapidement à un endroit ou l'autre de la tige plutôt que sur l'hypocotyle. Dès le début de la période de gauchissement, à 80 jours après le semis par exemple, il est possible de voir une nette différence entre l'angle maximum moyen retrouvé sur les plants et l'angle moyen retrouvé à l'hypocotyle.

**TABEAU 2:** Résumé de la méthodologie employée lors de l'expérience de l'automne 1987-hiver 1988 ayant comme objectif de caractériser précisément la séquence des événements qui suit la première apparition du gauchissement d'un plant d'épinette noire cultivée en récipients en serres

Traitement:	2 provenances (1 seule est utilisée dans ce document). 4 régimes de fertilisations 2 intensités lumineuses (les données sont toutes regroupées pour ce document). 4 répétitions. donc 64 parcelles au total.
Nombre de plants semés:	4288 plants semés dans 64 récipients de 67 cavités.
échantillonnés:	Les mesures de gauchissement ont été prises sur 320 plants (160 par provenance). Quotidiennement entre la 7 <sup>e</sup> (17/11/87) et la 17 <sup>e</sup> (01/02/88) semaine après le semis, trois fois par semaine entre la 18 <sup>e</sup> (03/02/88) et la 22 <sup>e</sup> (24/02/88), puis les 07/03, 14/03, et 05/04/88. Total de 87 journées.
Note:	seuls les résultats prélevés sur 160plants (une provenance) ont fait l'objet d'une analyse détaillée.
Date du semis:	29-09-87
Date du début des traitements:	14-10
Date de la 1 <sup>ère</sup> mesure de gauchissement:	17-11
Date de la fin des traitements:	20-01-88
Date de mise en dormance:	20-01
Date de la dernière mesure de gauchissement:	05-04
Date du dernier échantillonnage de croissance:	16-05

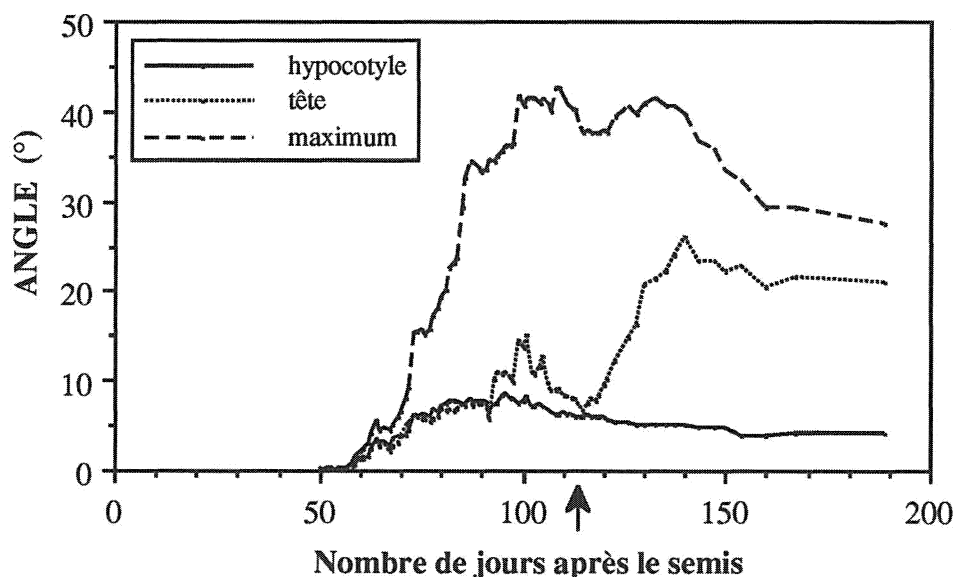


Figure 2: a) Évolution durant la saison de croissance de l'angle moyen des défauts liés à l'hypocotyle et à la tête de la tige, et angle maximum retrouvé à un endroit ou l'autre du plant. La flèche indique la date du début du traitement de dormance. Moyenne de 35 plants.

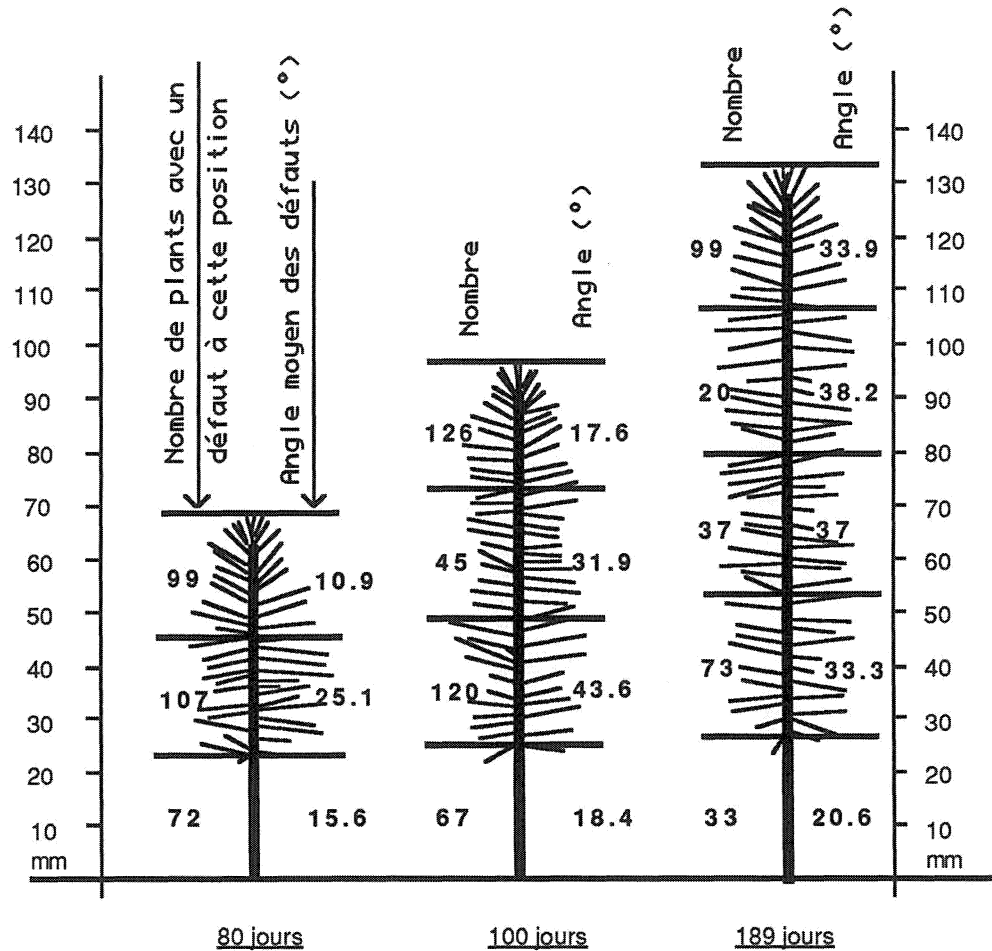


Figure 2: b) Nombre de plants ayant un défaut à différentes positions en hauteur du plant et angle moyen des défauts retrouvés à chaque position

La figure 2b fournit d'autres résultats indiquant que l'hypocotyle n'est pas l'endroit de gauchissement le plus fréquent. Quelque soit la journée de mesure considérée, le nombre de plants avec un défaut à l'hypocotyle est toujours plus petit que le nombre de plants avec un défaut à un endroit ou l'autre sur la tige. De plus, l'angle moyen de défauts reliés à l'hypocotyle atteint un maximum de 20.6°, alors qu'il atteint 38° à certains endroits de la tige. Les mesures au 189e jour après le semis, soit à un moment où les plants ne gauchissent plus, sont particulièrement révélatrices à cet égard, l'endroit de gauchissement le plus important en nombre et en courbure étant la tête de la tige. L'endroit où l'importance du défaut est le plus marqué suit donc un gradient vertical ascendant au fur et à mesure que la saison avance et que le plant croît en hauteur. Il est intéressant de noter par ailleurs qu'un défaut peut se retrouver à tout point de la tige et de



l'hypocotyle, alors que la définition fournit à la section 1 spécifie que le défaut apparaît au-dessus de 70 à 80 mm de hauteur. Il faudra préciser cette notion dans une prochaine définition. Auparavant, il y aura intérêt à refaire ce type d'analyse avec une culture de printemps (expérience actuellement en cours).

Le fait que, dans une expérience donnée, la longueur de l'hypocotyle demeure relativement constante pour tous les plants alors que le pourcentage de gauchissement hebdomadaire varie significativement d'un traitement à l'autre, est un autre résultat qui nous indique de façon indirecte que le problème du gauchissement ne vient probablement pas d'un hypocotyle trop fluet. En fait, ce résultat se confirme pour un grand nombre de facteurs étudiés: pour des plants ayant poussé sous différents régimes d'intensités lumineuses, de concentrations en CO<sub>2</sub>, de températures nocturnes de l'air ou de régimes de fertilisation (figure 3). Il est à noter que les plus forts pourcentages de gauchissement se retrouvent dans la population qui possède l'hypocotyle le plus court (figure 3d).

Le problème du gauchissement d'une population de plants ne semble donc venir ni d'une courbure trop prononcée de l'hypocotyle, ni d'un hypocotyle trop fluet. Pourtant, cette partie du plant montre un diamètre plus petit que la tige pour une bonne partie de la période de croissance exponentielle des plants. Il est donc possible que le temps entre la période de croissance juvénile et la période de croissance exponentielle soit suffisamment long pour permettre à l'hypocotyle de se lignifier, ce qui le rendrait dès lors moins susceptible de gauchir suite à la croissance en longueur et en poids de la partie aérienne du plant.

En plus d'identifier l'endroit où le plant gauchit préférentiellement, l'expérience de l'automne 1987 avait aussi comme premier objectif de caractériser systématiquement la séquence des événements qui suivent le gauchissement initial du plant, séquence qui peut conduire à un gauchissement définitif. Les 160 plants de la provenance Saguenay-Lac St-Jean semés au 29 septembre 1987 ont donc été suivis quotidiennement en terme de pourcentage de gauchissement dès la septième semaine après le semis, soit dès la première apparition du gauchissement dans l'hypocotyle ou dans la tige. Le total des journées de mesures précises du gauchissement de chacun de ces 160 plants atteint 87 jours (tableau 2). À chaque journée de mesure, le type de défaut, l'orientation et l'angle des plants gauchis étaient décrits, un même plant pouvant montrer plus d'un défaut sur sa tige et son hypocotyle. En fait, nous avons retrouvé jusqu'à sept défauts sur un seul plant lors d'une journée de mesure, le nombre dépassant rarement cinq, cependant. Le type de défaut était noté selon un code de 0 à 7 (figure 4), alors que l'angle du défaut était classifié par intervalle de 15° entre 0 et 120°, la dernière classe étant 120° et plus. L'orientation des défauts correspondait aux quatre points cardinaux et à leurs intermédiaires; ce critère ne sera toutefois pas utilisé dans ce document.

La figure 5 montre que la fréquence des types de défaut 3, 4 et 5 est, en tout temps, beaucoup plus élevée que les autres. Ces types de défaut correspondent tous à une longue courbure de 20 mm en moyenne qui ne dépasse pas 90° (figure 4). Les types 6 et 7 ont ce même genre de courbure sauf que l'angle dépasse 90°, alors que les défauts 1 et 2 sont des défauts dont la courbure courte ne dépasse pas 2 à 3 mm. Cependant, un plant affecté à un moment donné ou l'autre de sa période de croissance par les types de défaut 6 et 7 montrait toujours, en fin de production (au 189e jour), un angle de courbure dépassant les 15°; il s'agissait donc d'un plant qui risquait fort d'être déclassé. En fait, nous avons observé qu'il y a un angle limite que le plant ne doit pas dépasser durant sa croissance pour qu'il apparaisse sans défauts importants à la fin de la

production. Seulement 3 des 21 plants ayant atteint un angle de  $120^\circ$  ou plus durant la saison de croissance ont réussi à se redresser suffisamment pour qu'il n'y ait plus de défaut à la 189<sup>e</sup> journée de la production (tableau 3). Sur les 21 plants qui ont atteint cet angle, sept seulement ont réussi à se redresser sous les  $60^\circ$  d'angle. Des 70 plants sur 160 ne montrant aucun défaut lors de cette dernière journée de mesure, 14 plants seulement avaient atteint le  $90^\circ$  à un moment donné ou l'autre de la saison de croissance. Et au fur et à mesure que l'angle maximum atteint par un plant durant sa période de croissance diminue, plus ses chances sont grandes de terminer avec un défaut sous les  $15^\circ$  à la 189<sup>e</sup> journée; 100% des plants ayant atteint un angle maximum de  $15-30^\circ$  ont pu revenir sous le seuil des  $15^\circ$ , cette proportion étant de 65, 50, 50, 22 et 14% respectivement pour les intervalles d'angle maximum de  $30-45^\circ$ ,  $45-60^\circ$ ,  $60-90^\circ$ ,  $90-120^\circ$  et  $>120^\circ$ .

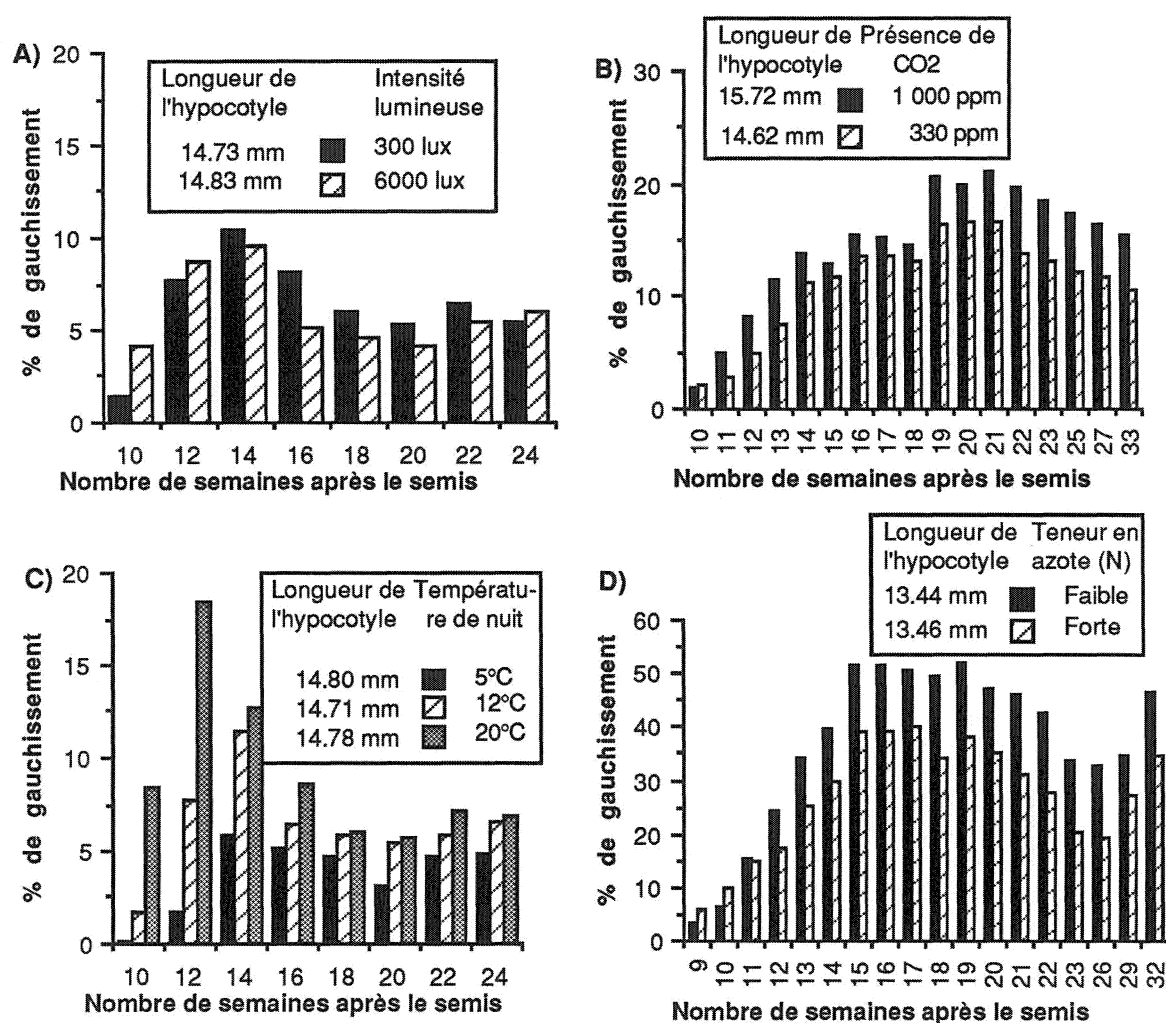


Figure 3: Influence de a) l'intensité lumineuse, b) la concentration en CO<sub>2</sub>, c) la température nocturne de l'air, et d) de la teneur en azote de la solution nutritive sur la longueur de l'hypocotyle et le pourcentage de gauchissement de plants d'épinette noire cultivés en récipients en serre.

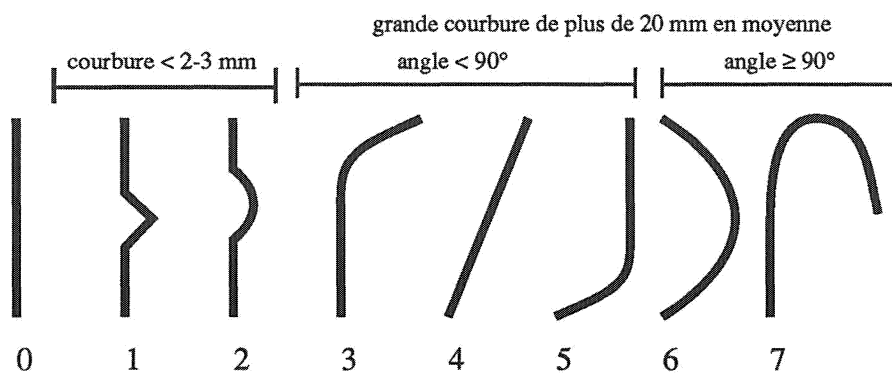


Figure 4: Représentation schématique des types de défauts considérés

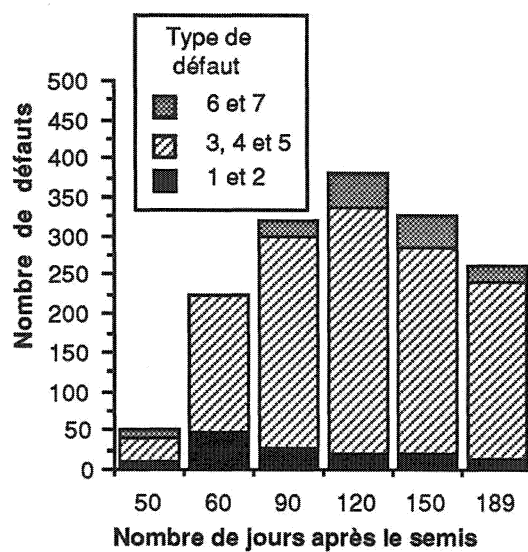


Figure 5: Fréquence des types de défaut à différents moments de la production. Calcul sur 160 plants pour chaque journée

TABLEAU 3: Nombre de plants sur un total de 160 qui ont terminé avec un angle final donné, tel qu'observé à la 189<sup>e</sup> journée après le semis, tout en ayant atteint un angle maximum donné à un moment ou l'autre de la saison de croissance

ANGLE FINAL (°)	ANGLE MAXIMUM (°)							
	0-15	15-30	30-45	45-60	60-90	90-120	>120	
<b>TOTAL</b>								
0-15	16	19	12	13	6	2	0	68
15-30	NA	5	7	1	3	4	0	20
30-45	NA	NA	8	7	5	3	1	24
45-60	NA	NA	NA	6	5	8	0	19
60-90	NA	NA	NA	NA	4	6	3	13
90-120	NA	NA	NA	NA	NA	8	3	11
>120	NA	NA	NA	NA	NA	NA	5	5
<b>TOTAL</b>	<b>16</b>	<b>24</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>23</b>	<b>31</b>	<b>12</b>	<b>160</b>

NA = non-applicable

Ces résultats signifient que plus un plant gauchit à un moment donné de sa croissance, moins il montrera de capacité à se redresser totalement. Si la tendance perçue dans ces résultats se vérifient dans d'autres expériences, elle voudrait dire qu'un producteur voyant un plant montrant un angle de plus de 90° pourrait déjà déduire sans trop d'erreur que ce plant ne se redressera pas assez pour redevenir suffisamment droit. Il faut être conscient, cependant, que cette expérience de caractérisation du gauchissement s'est déroulée dans des conditions difficiles de croissance et de développement pour des plants d'épinette noire cultivés en récipients en serres. En effet, les faibles conditions de lumière naturelle et l'humidité relative élevée qui prévalent lors de la saison automnale québécoise ne sont pas idéales pour la croissance des végétaux. Il est donc plausible de croire que, dans le cas d'une production de printemps ou d'été, la plus grande disponibilité de lumière naturelle et les meilleures conditions d'humidité dans la serre lorsque les plants cherchent à se redresser pourraient aider ces derniers à combattre plus facilement une courbure extrême. Le potentiel accru de fixation de carbone et de lignification laisse croire à ce résultat, sauf que tout ceci reste à confirmer pour l'instant.

### 3.2 CHOCS MÉCANIQUES

Le vent et les perturbations mécaniques favorisent la croissance radiale et réduisent l'élongation de la tige, des branches et des feuilles (Telewski et Jaffe 1986a). L'augmentation de la croissance radiale découle de divisions cellulaires plus nombreuses dans le cambium, ce qui donne un plus grand nombre de trachéides qui ont aussi la caractéristique d'être plus courte. Chez *Pinus taeda*, les perturbations mécaniques diminuent la flexibilité de la tige, alors que l'élasticité et la plasticité augmentent (Telewski et Jaffe 1986b). L'effet sur la croissance et le développement des plants d'un environnement exempt de chocs environnementaux (environnement normal de production commerciale en serres) comparativement à un environnement avec chocs a été étudié

dans un premier temps. Il faut étudier en même temps l'importance d'un certain nombre de paramètres reliés à la création des chocs. Par exemple, quelle est la fréquence minimale des chocs? L'orientation est-elle importante? Peut-on fournir des chocs interrompus alors que le vent, en nature, devrait plutôt être associé à un choc continu?

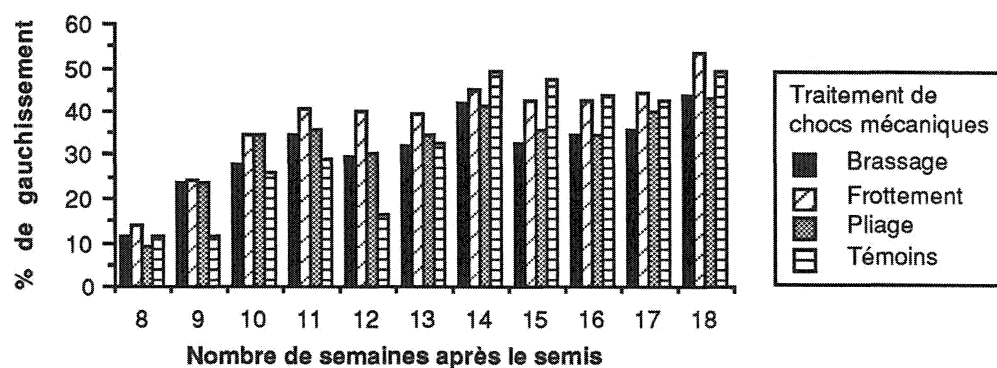
Pour commencer à répondre à ces questions, deux expériences ont été réalisées. L'une à l'été 1987 dans les serres de recherche de l'UQAC, et l'autre dans les serres commerciales de la Coopérative forestière de Ferland-Boilleau à l'hiver 1988. L'objectif de la première était d'évaluer, en conditions contrôlées de recherche, l'influence sur chaque individu de mécanismes précis de création de chocs environnementaux sur le gauchissement de la tige et la croissance de l'épinette noire cultivée en récipients en serre. La seconde expérience avait le même objectif, sauf qu'elle se déroulait en conditions commerciales de production et que les traitements de chocs se faisaient simultanément sur une grande population d'individus à l'aide d'appareils créant différents types de chocs environnementaux.

Le tableau 4 résume les aspects méthodologiques retenus lors du déroulement de la première expérience. Les résultats obtenus ne vont pas toujours dans le sens indiqué par la littérature. Les plants traités selon diverses fréquences, durées et dates de début de traitement n'ont pas montré de différences significatives de pourcentage de gauchissement et de croissance avec les plants témoins. Les divers types de chocs mécaniques ont cependant montré certaines différences au point de vue gauchissement (figure 6). Le traitement de brassage a généralement fourni un ensemble de plants moins gauchis, alors que le traitement de frottement accentuait ce problème. Cependant, les plants non-traités montrent, en début de période de production, un pourcentage de gauchissement significativement plus petit que les plants traités par divers chocs, alors que c'est l'inverse qui se produit lorsque les plants atteignent 14 semaines.

Le tableau 5 résume les aspects méthodologiques retenus lors du déroulement de la seconde expérience. Ici aussi les résultats obtenus ne vont pas dans le sens attendu, mais ils confirment ceux obtenus dans l'expérience décrite au paragraphe précédent. Le pourcentage de gauchissement et la croissance des plants soumis aux divers chocs sont indépendants de la période où les chocs ont été fournis et de la date du début de traitement. Quant aux types de traitement eux-mêmes, les résultats indiquent que les plants non-traités montrent le taux de gauchissement le plus bas, les divers types donnant des résultats relativement semblables en fin de saison (figure 7). Les résultats obtenus vont donc à l'inverse de ceux retrouvés dans la littérature. Ces résultats s'expliquent probablement par le fait que les plants traités étaient plus jeunes que les plants utilisés lors des expériences citées dans la littérature. Les plants ont alors eu moins de temps pour se lignifier. De plus, l'importance relative du cortex, un tissu parenchymateux situé autour des tissus vasculaires de la tige, est d'autant plus grande que le plant est jeune; ce tissu est beaucoup moins rigide et lignifié que le xylème et le phloème. S'il existe réellement une relation entre la sensibilité d'un plant au gauchissement et la disposition des tissus dans les jeunes plants, relations que nous venons d'ailleurs tout juste de commencer à étudier, il est alors normal qu'un plant soumis à des chocs ait plus tendance à gauchir qu'un plant qui n'a pas à subir ce type de stress. Une fois le plant plus âgé, la réponse aux traitements pourrait différer. Il est cependant impossible pour l'instant de spécifier cet âge, ces constatations faisant toujours partie du domaine des hypothèses.

**TABEAU 4:** Résumé de la méthodologie employée dans les serres de l'UQAC lors de l'expérience de l'été 1987 ayant comme objectif d'évaluer, en conditions contrôlées de recherche, l'influence sur chaque individu de mécanismes précis de création de chocs environnementaux sur le gauchissement de la tige et la croissance de l'épinette noire cultivée en récipients en serre

<b>Traitement:</b>	2 provenances. 3 types de choc mécanique: brassage, pliage et frottement effectués à la main 2 fréquences: chocs donnés 2 ou 5 fois/semaine. 3 stades de début de traitement: 2, 5 et 8 semaines et demi après le semis 2 durées de traitement: 2 et 4 semaines. 4 répétitions. donc 192 parcelles au total, chacune contenant des plants traités et des plants témoins.
<b>Nombre de plants semés:</b>	30150 d'une provenance dans 450 récipients de 67 cavités.
<b>échantillonnés:</b>	Les mesures de croissance ont été prises sur 3576 plants mesurés après destruction au cours de 5 échantillonnages effectués à toutes les 3 semaines durant la période du 30-06 au 22-09. Le gauchissement était suivi sur 1728 plants mesurés hebdomadairement du 10-07 au 18-09.
<b>Date de semis:</b>	14-05-87
<b>Date de la première fertilisation:</b>	27-05
<b>Date de début des traitements:</b>	01-06
<b>Date de la 1<sup>ère</sup> mesure du gauchissement:</b>	10-07
<b>Date de la fin des traitements:</b>	07-08
<b>Date de mise en dormance:</b>	01-09
<b>Date de la dernière mesure de gauchissement:</b>	18-09
<b>Date du dernier échantillonnage:</b>	22-09



**Figure 6:** Influence de divers traitements de chocs mécaniques sur le gauchissement de la tige de l'épinette noire

**TABEAU 5:** Résumé de la méthodologie employée dans les serres de la Coopérative forestière de Ferland-Boilleau lors de l'expérience de l'hiver 1988 ayant comme objectif d'évaluer, en conditions commerciales, l'influence sur une population d'individus de mécanismes globaux de création de chocs environnementaux sur le gauchissement de la tige et la croissance de l'épinette noire cultivée en récipients en serre

Traitement:	4 types de chocs mécaniques: brassage par ventilation forte et faible, pliage par tige horizontale rigide, frottement par tiges verticales (peigne).
3 périodes:	traités le midi ou le soir ou les deux
3 stades de début de traitement:	5, 9 et 13 semaines après le semis
1 durée de traitement:	4 semaines.
2 répétitions.	
	donc 72 parcelles sous traitements au total + 12 parcelles témoins.
Nombre de plants semés:	57888 d'une provenance dans 864 récipients de 67 cavités.
échantillonnés:	Les mesures de croissance ont été prises sur 1440 plants mesurés après destruction au cours de 5 échantillonnages effectués à toutes les 4 ou 5 semaines durant la période du 08-02 au 13-06. Le gauchissement était suivi hebdomadairement sur 3948 plants durant la période du 18-03 au 09-06.
Date de semis:	11-01-88
Date de début des traitements:	08-02
Date de la 1 <sup>ère</sup> mesure du gauchissement:	18-03
Date de la fin des traitements:	02-05
Date de mise en dormance:	09-06
Date de la dernière mesure de gauchissement:	09-06
Date du dernier échantillonnage:	13-06

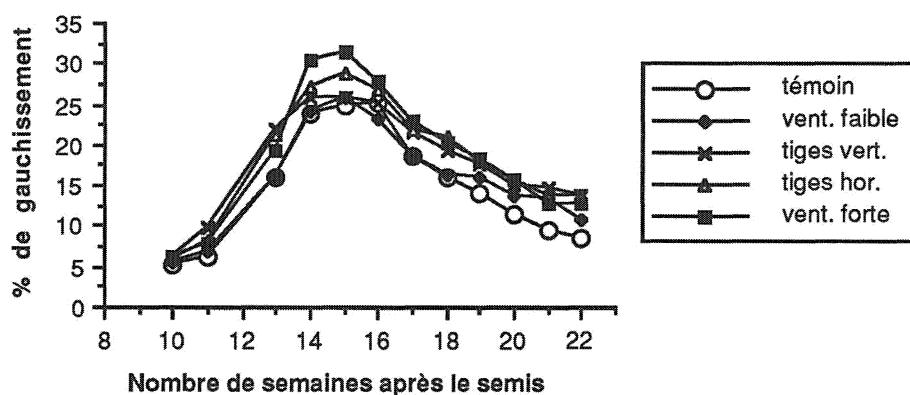


Figure 7: Influence de traitements de ventilation forte et faible et de brassage par tiges verticales et horizontale sur le gauchissement de la tige de l'épinette noire.



### 3.3 ALLOCATION DU CARBONE CENTRÉE VERS LA CROISSANCE EN LONGUEUR DE LA TIGE

La grande majorité des plantes, y compris l'épinette noire, répond par une croissance rapide en longueur à des conditions de culture qui font appel à de fortes températures et à de faibles intensités lumineuses. Cette dernière condition est particulièrement vraie pour la production d'hiver d'épinette noire en récipients, laquelle débute souvent en janvier. Ceci risque d'avoir des incidences importantes au niveau de la production de biomasse, car les plantes se retrouvent alors dans une situation de forte perte en carbone (respiration) pour une situation de faible fixation (photosynthèse). Le bilan carboné n'étant pas optimal, il est plausible de croire qu'il devient alors impossible pour la plante de répondre totalement à la demande en cellulose et lignine requises pour la formation de parois cellulaires rigides. Ceci favoriserait ainsi l'apparition d'une courbure dans la tige par manque de rigidité des parois. En plus de cet aspect quantitatif de bilan carboné, il peut aussi se poser un problème qualitatif d'allocation des carbones originant de la photosynthèse, une trop grande proportion de ceux-ci se dirigeant vers les zones méristématiques de la partie aérienne plutôt que vers la croissance en diamètre de la tige ou vers la croissance des racines.

Toutes ces déductions nous ont amené à travailler sur les facteurs reconnus pour influencer la fixation du CO<sub>2</sub> chez les plantes, facteurs qui, très souvent, influencent en même temps la translocation organique dans la plante. L'optique dans laquelle nous étudions ces facteurs est le suivant:

ne pas diminuer la quantité de carbone que peut potentiellement fixer un plant d'épinette noire placé sous des conditions optimales de croissance, et faire en sorte que l'allocation de ce carbone entre la partie aérienne et la partie souterraine, de même qu'entre la croissance en longueur de la tige et sa croissance en diamètre se fasse de façon plus équilibrée.

Autrement dit, il faut au minimum obtenir un plant de même poids sec mais plus petit, d'où un rapport hauteur/diamètre plus petit et, par le fait même, plus avantageux. Le tout résultant probablement en une population de plants où le gauchissement n'est plus un facteur de perte significatif.

Dans le cadre de cette avenue, deux approches ont été retenues: 1) une approche chimique basée sur l'emploi de retardants de croissance, et 2) une approche culturale basée sur l'emploi de régies de culture permettant au plant d'exprimer la plus grande partie possible de son potentiel de fixation du carbone. Seule la seconde approche a été étudiée jusqu'à présent.

Une possibilité pour diminuer l'incidence du gauchissement de la tige de l'épinette noire consiste donc à augmenter le niveau d'un certain nombre de paramètres de base essentiels à la bonne marche du processus photosynthétique dans la plante. Par exemple, il est reconnu que l'ajout de CO<sub>2</sub> et/ou de grandes quantités d'énergie en provenance de lumière artificielle favorisent la croissance de l'ensemble des organes d'une plante lorsque les conditions de ventilation et de lumière naturelle sont déficientes (D'Aoust 1978; Gosselin et Trudel 1984; Morissette 1986). Pour des conifères cultivés en récipients, ces ajouts pourraient, en plus d'augmenter la quantité de carbone fixé, induire une meilleure allocation du carbone entre les divers organes de la plante, donc une croissance plus forte et mieux équilibrée que celle observée actuellement en conditions commerciales de production. En fait, il y aurait suffisamment de produits photosynthétiques formés pour répondre adéquatement aux demandes des différents puits de la plante.



L'effet bénéfique de l'ajout de CO<sub>2</sub> dans une serre où des semis de conifères sont cultivés est reconnu pour la croissance en longueur de la tige et la croissance en poids sec (Funsch *et al.* 1970; Tinus et McDonald 1979; Milhet et Costes 1984). Qu'en est-il pour la croissance des autres organes? Ceci reste à vérifier pour l'épinette noire et l'apparition de défauts de croissance. Des travaux effectués à l'Université Laval ont montré cependant que l'utilisation du CO<sub>2</sub> seul augmente l'incidence du gauchissement (Margolis et Campagna 1987). La lumière étant alors le facteur limitant dans le cas d'une production d'hiver, l'utilisation de l'éclairage artificiel pourrait atténuer ce problème. En production de semis en récipients, il n'y a pas encore d'utilisation commerciale de l'éclairage artificiel à des fins de croissance, les producteurs n'employant actuellement la lumière artificielle qu'à une intensité juste assez forte pour empêcher les plants d'entrer prématurément en dormance (lumière de maintien). Pourtant, les coûts relativement bas de l'électricité au Québec pourrait peut-être permettre de rentabiliser l'emploi de hautes intensités lumineuses provenant d'une installation de lampes à haute décharge énergétique, comme c'est le cas pour la tomate et le concombre de serre (Boivin *et al.* 1984; Blain *et al.* 1985; Yelle *et al.* 1987). Toujours en vue d'améliorer le bilan carboné quotidien, il apparaîtrait intéressant de diminuer les températures de l'air la nuit, afin de réduire les taux de respiration nocturne et les pertes de carbone. Cette mesure aurait aussi pour effet de réduire les coûts de chauffage nocturne des serres, un aspect intéressant en conditions hivernales de production. Cependant, le plant étant actif la nuit du point de vue croissance et transport des sucres, entre autres, l'effet d'une telle action sur la culture doit être précisément évalué.

Une expérience réalisée à l'UQAC durant l'hiver 1987 (tableau 6) et une autre à l'hiver 1988 (tableau 7) montrent respectivement l'influence bénéfique de fortes intensités de lumière artificielle et de l'augmentation de la concentration de l'air en CO<sub>2</sub> sur la croissance des semis d'épinette noire cultivés en récipients. Notre objectif de 20 cm a été atteint de deux à trois semaines plus tôt avec l'utilisation de fortes quantités de lumière (6 000 lux) comparativement à une quantité plus faible (300 lux) (figure 8a). Le CO<sub>2</sub> naturel ayant été fort probablement le facteur de croissance limitant lors de l'expérience de l'hiver 1987, la ventilation étant réduite au strict minimum en période hivernale de production, l'effet d'une augmentation de la concentration de l'air en CO<sub>2</sub>, ponctuelle ou continue, devrait encore améliorer ce résultat. Suffisamment de fixation de carbone pour répondre à la fois aux besoins d'une croissance plus rapide de la tige et à ses besoins de rigidité et de lignification, voilà ce que laisse entrevoir l'utilisation simultanée de CO<sub>2</sub> et de lumière artificielle. Conserver le plus possible l'air d'une serre aux environs de 1 000 ppm de CO<sub>2</sub> a effectivement pour effet d'accroître la vitesse de croissance en longueur des plants d'épinette noire, quoique l'influence du CO<sub>2</sub> n'apparaît pas aussi importante que la lumière sur ce paramètre (figure 8b). La réduction des températures nocturnes de l'air jusqu'à 10°C n'a pas d'influence significative sur la croissance en longueur des semis d'épinette noire (figure 8c). La réduction est significative à 5°C, cependant.

**TABEAU 6:** Résumé de la méthodologie employée dans les serres de l'UQAC lors de l'expérience de l'hiver 1987 ayant comme objectif d'évaluer l'influence de l'intensité lumineuse fournie par des lumières artificielles et de la réduction des températures nocturnes de l'air sur le gauchissement de la tige et la croissance de l'épinette noire cultivée en récipients en serre

Traitement:	1 provenance. 2 intensités lumineuses: 6 000 et 300 lux (70 et 3.7 $\mu\text{mole de lum m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) fournies par des lampes à haute pression de vapeur de sodium 400W pendant 18 h/jour. 5 températures nocturnes de l'air maintenues durant les 6 heures où les lumières étaient éteintes: 5, 10, 12.5, 15, 20°C. Température constante à 15°C pour la tourbe et les racines la nuit, et 22°C constant partout durant la journée. 3 répétitions. donc 30 parcelles au total.
Nombre de plants semés:	30150 d'une provenance dans 450 récipients de 67 cavités.
échantillonnés:	300 plants/échantillonnage mesurés destructivement au cours de 11 échantillonnages différents effectués durant la période du 23-02 au 08-09 (à toutes les deux semaines pour les 9 premiers).
Date de semis:	15-01-87
Date de la première fertilisation:	26-01
Date du début des traitements:	30-01
Date du premier échantillonnage:	23-02
Date de la 1 <sup>ère</sup> mesure du gauchissement:	19-03
Date de mise en dormance:	05-05
Date de la dernière mesure de gauchissement:	25-06
Date du dernier échantillonnage:	08-09

**TABEAU 7:** Résumé de la méthodologie employée dans les serres de l'UQAC lors de l'expérience de l'hiver 1988 ayant comme objectif d'évaluer l'influence des provenances, de l'intensité lumineuse fournies par des lumières artificielles et de l'ajout de CO<sub>2</sub> sur le gauchissement de la tige et la croissance de l'épinette noire cultivée en récipients en serre

Traitement:	22 provenances. 2 intensités lumineuses: 4 000 et 300 lux (58 et 3.7 $\mu\text{mole de lum m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) fournies par des lampes à haute pression de vapeur de sodium 400W pendant 18 h/jour. 2 concentrations de l'air en CO <sub>2</sub> dans la serre: pas d'ajout ( $\approx$ 330 ppm et maintien à 1 000 ppm pendant 18 heures par jour). 4 répétitions. donc 352 parcelles au total.
Nombre de plants semés:	70752 dans 1056 récipients de 67 cavités.
échantillonnés:	1056 plants (3 plants/parcelle) par échantillonnage mesurés destructivement au cours de 8 échantillonnages différents effectués durant la période du 29-02 au 17-10 (à toutes les trois semaines pour les 6 premiers).
Date de semis:	08-01-88
Date de la première fertilisation:	20-01
Date du début des traitements:	25-01
Date du premier échantillonnage:	29-02
Date de la 1 <sup>ère</sup> mesure du gauchissement:	08-03
Date de mise en dormance et fin des traitements:	05-05
Date de la dernière mesure de gauchissement:	16-08
Date du dernier échantillonnage:	17-10

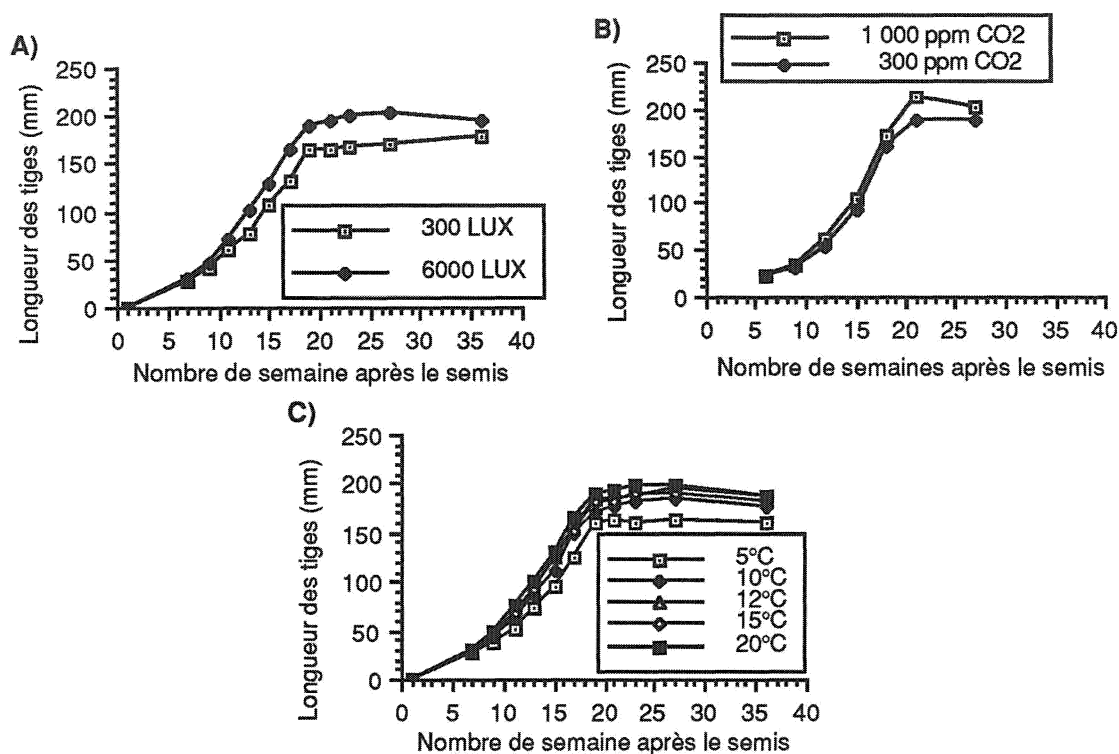


Figure 8: Influence de divers facteurs de l'environnement sur la croissance en longueur des tiges de plants d'épinette noire cultivés en récipients en serres:

- a) intensité lumineuse;
- b) concentration de l'air en CO<sub>2</sub>;
- c) température nocturne de l'air.

Les résultats de gauchissement de ces mêmes populations de plants sont montrés aux figures 3 a, b et c. Le fait que les plants de l'expérience hiver 87 n'ont pas plus gauchi sous haute intensité lumineuse que sous basse intensité, alors que leur vitesse de croissance a, en certains moments, dépassé les 17 cm/sem, réfute l'argument voulant que le problème du gauchissement soit uniquement lié à la vitesse de croissance des épinettes noires. La plus grande disponibilité du carbone fixé pour la fabrication de parois cellulaires plus épaisses et mieux lignifiées n'est peut-être pas étrangère au résultat obtenu sous haute intensité lumineuse. Les courbes de la figure 8a laissent toutefois voir que le résultat obtenu suite à l'emploi de plus grande quantité de lumière artificielle ne se perçoit qu'à environ 12 semaines après le semis. Il est donc possible que la lumière à haute intensité n'améliore pas autant que désiré la quantité de carbone fixé en début de saison de croissance. Ceci reste à vérifier.

Contrairement à la lumière, la forte concentration de l'air en CO<sub>2</sub> a fait augmenter le taux de gauchissement de la population de plant, avec ou sans l'utilisation de hautes intensités lumineuses (figure 3b). Les résultats à basse intensité lumineuse vont donc dans le sens exprimé par les travaux de Margolis et Campagna (1987), alors que l'argument voulant que l'ajout d'une

forte quantité d'énergie lumineuse par l'emploi de la lumière artificielle pourrait réduire cet effet négatif du CO<sub>2</sub> ne semble pas tenir. Ce résultat pourrait provenir du fait que le CO<sub>2</sub> est reconnu pour promouvoir la production d'éthylène dans les plants (Yang *et al.* 1982), alors que cette substance de croissance naturelle chez les plantes pourrait fort possiblement favoriser le développement du gauchissement de la tige de l'épinette noire (voir section 4 et nouveau projet).

La diminution des températures de l'air la nuit ne semble pas affecter le pourcentage final de plants gauchis (figure 3c). Le pourcentage de plants affectés à un moment donné ou l'autre de la période de croissance augmente cependant avec l'élévation des températures nocturnes de l'air. Plus la température est élevée, plus la vague de gauchissement est importante et précoce, même si l'effet sur la croissance en longueur de la tige est limité (figure 8c).

### 3.4 AUTRES EXPÉRIENCES

Le gauchissement de la tige de l'épinette noire a aussi été étudié dans le cadre d'expériences ne faisant pas partie des trois avenues du projet de l'UQAC. Certains résultats obtenus en cours de route et des discussions avec différents intervenants expliquent ces incursions en dehors du projet initial. Nous n'allons fournir ici qu'un certain nombre d'informations préliminaires reliées au gauchissement, le tout ayant pour objet d'informer le lecteur du genre de résultats qui, après analyses plus complètes, devraient être diffusés par notre équipe d'ici quelques temps. Les résultats qui suivent ne doivent donc pas être pris comme des conclusions, mais comme des tendances qui semblent se dessiner en première analyse.

L'expérience réalisée à l'automne 1987 (tableau 2) avait aussi pour objectif de comparer quatre régimes de fertilisation différents, tous utilisés sous quatre régimes différents d'intensités lumineuses. Les quatre régimes de fertilisation peuvent grossièrement se résumer ainsi: 1- cédule hiver UQAC (N normal; N-P-K balancé), 2- cédule été UQAC (N élevé pour la saison; N-P-K balancé), 3- cédule hiver avec 20-20-20 seulement (N normal; N-P-K débalancé par rapport à 1), et 4- cédule été avec 20-20-20 seulement (N élevé pour la saison; N-P-K débalancé par rapport à 2). La figure 3d montre les deux résultats extrêmes. De façon surprenante, le taux de gauchissement diminue avec de fortes quantités d'azote. Cependant, ce taux ne varie pas selon que la fertilisation soit fournie par un assortiment d'engrais (cédule UQAC) où un seul type (20-20-20) (données non-présentées). Pour ce qui est de la croissance en longueur ou en poids sec, les différents régimes de fertilisation n'ont pas fourni de résultats significativement différents les uns des autres. Ce résultat indique une fois de plus que, dans certains cas, une population de plants d'épinette noire peut avoir un rythme de croissance aussi rapide qu'une autre, tout en montrant un taux de gauchissement plus petit.

Toujours dans le domaine des milieux de culture, nous sommes actuellement à réaliser une expérience dont l'objectif est de préciser la concentration en sodium que l'eau d'arrosage peut contenir sans affecter significativement la croissance et le développement de l'épinette noire et du pin gris, et ce aussi bien du point de vue croissance des racines que de la partie aérienne. Les plants sont fertigués et ont tous été soumis à la même solution fertilisante, sauf que la concentration en sodium de ces solutions était ajustée à 0, 50, 75, 100 ou 150 ppm avec du carbonate de sodium. En ce qui a trait au gauchissement, un autre résultat fort intéressant semble ressortir. La solution à 0 ppm (une solution qui, en fait, contient une faible quantité de sodium [5 à 10 ppm], soit le sodium normalement présent dans l'eau de consommation de la ville de

Chicoutimi) exige beaucoup plus d'eau pour croître que les autres, et son taux de gauchissement est passablement plus élevé (figure 9). De plus, sa tige est beaucoup plus plastique, alors que les tiges des autres traitements montrent une certaine élasticité qui leur permet de se redresser très rapidement suite à une verse naturelle ou provoquée (un arrosage, par exemple). Une relation directe entre la salinité de la solution et le taux de gauchissement pourrait donc exister. Cependant, les fortes concentrations de sodium ont beau réduire le taux de gauchissement, ils ne sont pas encore la solution idéale à ce défaut de croissance car ils ont tout de même une influence négative sur la croissance des plants en général, et sur la croissance du système racinaire en particulier. De plus, il nous faut attendre pour voir si les plants gauchis du traitement 0 ppm sodium ne se redresseront pas lorsque les processus de lignification de la tige seront accélérés par l'entrée en dormance des plants.

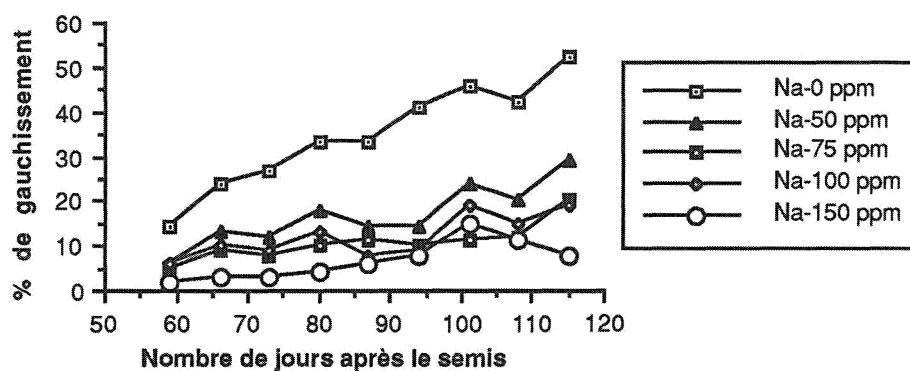


Figure 9: Influence de la concentration en sodium dans la solution de fertigation sur le gauchissement de la tige de l'épinette noire

Nous avons aussi entrepris à l'hiver 1988 une expérience qui avait pour objectif d'évaluer l'effet de la variable provenance sur le taux de gauchissement d'une population donnée. Pour ce faire, nous avons fait germer et croître des graines issues de 22 provenances différentes récoltées dans toutes les régions du Québec où l'épinette noire est une espèce importante du point de vue reboisement. Les graines nous ont été gracieusement fournies par le Centre de traitement des semences du MER à Berthierville. Tout en tenant compte des limites de l'échantillonnage, les premières analyses indiquent qu'il n'y a pas réellement de région au Québec où les provenances montrent continuellement un taux de gauchissement significativement plus élevé. Il y a cependant des différences significatives entre les provenances, le taux de gauchissement final de nos échantillons variant d'un minimum de 9.5% à un maximum de 17.8% avec une moyenne de 13.0% pour les 22 provenances. Les analyses finales devraient être disponibles d'ici quelques mois, le dernier échantillonnage de ces populations ayant été fait au milieu octobre 1988.

#### 4. OÙ EN SOMMES-NOUS ET VERS OÙ ALLONS-NOUS?

Après 24 mois de travail soutenu sur le projet du gauchissement de la tige de l'épinette noire, certaines conclusions s'imposent. Nous sommes de plus en plus convaincus que la plus grande partie du problème du gauchissement n'origine pas de la première avenue du projet, soit un hypocotyle trop fluet. Bien sûr, les analyses devront être raffinées pour confirmer cette affirmation. Entre autres, l'analyse de la relation entre le taux de gauchissement et le diamètre de l'hypocotyle devra être complétée selon le même modèle décrivant cette relation avec la longueur de l'hypocotyle. La caractérisation précise du gauchissement devra aussi porter sur un semis d'hiver. Les algorithmes de calcul et la méthodologie d'analyse étant maintenant en grande partie disponibles, il ne reste plus qu'à étendre leur application.

Les expériences reliées à la troisième avenue n'ont pas encore fourni de résultats suffisamment probants pour croire que la solution au gauchissement y réside. Même que les résultats obtenus n'ont pas été dans le sens indiqué par la littérature, bien au contraire. Que ce soit en serres de recherche ou en serres commerciales, les divers traitements de chocs mécaniques utilisés ont généralement accentué le problème du gauchissement de la tige de l'épinette noire. Cette avenue ne peut toutefois pas encore être complètement rejetée. La grande quantité de variables (type des chocs, temps et fréquence du traitement, date du début, moment de la journée, etc.) associée à une expérience donnée, ainsi que le choix qui doit être fait pour rencontrer les exigences méthodologiques et pratiques de cette même expérience expliquent notre prudence à cet égard. Malgré cela, nous ne favoriserons pas une étude plus approfondie de cette avenue dans un proche avenir, quoique les résultats de certaines expériences entreprises d'ici peu sur le rôle de l'éthylène dans le gauchissement de la tige pourrait nous faire reprendre son étude plus rapidement que prévu.

Il reste donc la seconde avenue. Faute de moyens, l'approche "régie de culture" a été la seule étudiée jusqu'ici. Sous les conditions retrouvées dans les serres de l'UQAC, l'utilisation simultanée d'intensités lumineuses plus élevées et de températures nocturnes de l'air plus basses que ce qui est généralement utilisée dans les serres commerciales a toujours réduit significativement le taux de gauchissement de la tige de l'épinette noire, tout en augmentant la vitesse de croissance en longueur et en poids sec des plants et en réduisant le rapport H/D. L'effet est surtout causé par l'ajout d'énergie lumineuse supplémentaire. L'ajout de CO<sub>2</sub> (1 000 ppm) a eu l'effet inverse, même en présence de plus de 4 000 lux d'éclairage artificiel. Ce dernier résultat va à l'encontre de notre hypothèse de départ qui spécifiait que tout traitement améliorant la quantité de carbone fixée par la plante devrait réduire le taux de gauchissement suite à une meilleure réponse à la demande en produits carbonés pour la constitution et la lignification des parois cellulaires des cellules vasculaires de la tige. Pourtant, l'ajout de CO<sub>2</sub> a augmenté la quantité nette de carbone fixé par les plantes, tel qu'indiqué dans cette expérience par l'augmentation du poids sec des semis en récipients soumis à de plus fortes concentrations en CO<sub>2</sub> (données non-présentées). L'analyse de la littérature et l'analyse globale des diverses expériences effectuées jusqu'ici nous conduisent donc à raffiner cette hypothèse de départ.

Certaines indications laissent croire que le problème du gauchissement peut aussi être relié au métabolisme de l'éthylène et à un effet de turgescence cellulaire, plutôt qu'à un effet de manque de lignification des parois cellulaires. Il est d'ailleurs reconnu que les stress environnementaux augmentent la concentration interne des tissus végétaux en éthylène. Cette tendance est si universelle que le terme "stress éthylène" est souvent employé de nos jours (Yang



et Hoffman 1984). L'éthylène stimule à son tour l'activité de la cellulase (Kawase 1979), celle-ci agissant en dégradant une partie de la paroi cellulaire des cellules corticales. De plus, certaines de ces cellules deviennent turgides, alors que d'autres sont plasmolysées. Ce genre d'effet pourrait alors conduire au gauchissement de la tige de l'épinette noire.

Par exemple, plusieurs chercheurs indiquent que l'effet de croissance radiale en réponse à la présence de chocs environnementaux est probablement médié par l'éthylène (Leopold *et al.* 1972; Brown et Leopold 1973), quoiqu'une interaction avec l'auxine, une autre substance de croissance naturelle, n'est pas exclue (Weier *et al.* 1984). En fait, l'éthylène ne serait que l'un des facteurs causant la réponse aux chocs (Biro et Jaffe 1984). L'application exogène d'une forme synthétique d'éthylène provoque aussi une augmentation de la croissance radiale de divers organes chez différents conifères (Brown et Leopold 1973; Barker 1979; Telewski et Jaffe 1986c). Ce résultat est également constaté pour des hypocotyles de *Pinus taeda* (Telewski *et al.* 1983).

L'augmentation de l'intensité lumineuse, donc la diminution d'un stress, a aussi pour effet d'inhiber dans les tissus foliaires la conversion du précurseur de l'éthylène, soit l'ACC, en éthylène. Au contraire, le CO<sub>2</sub> est reconnu pour promouvoir la production d'éthylène dans les plants (Yang *et al.* 1982). Ces résultats indiqueraient que le CO<sub>2</sub> régularise l'activité, mais pas la synthèse, de l'enzyme convertissant l'ACC en éthylène, et que l'activité inhibitrice de la lumière passerait par une réduction de la concentration interne de la feuille en CO<sub>2</sub> (de Laat *et al.* 1981; Gepstein et Thimann 1980). Nous avons observé précédemment que l'augmentation de l'intensité lumineuse dans la production d'épinette noire en récipients en serres réduit le pourcentage de gauchissement, alors que l'utilisation de fortes concentrations de l'air en CO<sub>2</sub> l'augmente. Le détrempe du sol est aussi un facteur qui augmente considérablement la concentration en éthylène dans la plante (Jackson 1985; Kawase 1979). Il est intéressant de remarquer à cet égard que Bissonnette (1987) a noté un plus fort pourcentage de plants gauchis pour des arrosages qui dépassaient les besoins des semis d'épinette noire. Le substrat était sursaturé en eau sur de longues périodes de temps, occasionnant un "stress" chez les jeunes plantules. Une certaine analogie peut être faite avec les résultats préliminaires de l'expérience sur le sodium actuellement en cours. Les plants soumis au traitement sans sodium exigent plus d'eau et leur taux de gauchissement dépasse de beaucoup celui des plants soumis à des concentrations plus fortes en sodium.

L'hypothèse qu'un "stress" induit effectivement une augmentation de la teneur en éthylène dans les tiges d'épinette noire, ce qui aurait pour effet de stimuler l'activité de la cellulase, sera donc vérifiée. Les parois cellulaires des cellules corticales seraient alors partiellement dégradées, causant ainsi une perte de turgescence du plant, un affaiblissement de la capacité de support de la tige, puis son gauchissement. L'une des expériences (été 1989) à réaliser aura pour but de vérifier si une application exogène d'éthylène a effectivement une influence sur le gauchissement de la tige de l'épinette noire. L'objectif premier de cette expérimentation est de vérifier si l'éthylène cause des modifications morphologiques des tissus de l'hypocotyle et de la tige, d'évaluer la sensibilité de ces tissus au cours de leur développement et de vérifier l'influence d'une application exogène d'éthylène sur le taux de fixation du CO<sub>2</sub> des plantes traitées comparativement aux plantes non-traitées.

## CONCLUSIONS

Ce document fournit l'ensemble des informations recueillies depuis 24 mois à l'UQAC sur le sujet du gauchissement de la tige de l'épinette noire cultivée en récipients. À partir de ces informations, il devient possible de reformuler ainsi la définition du gauchissement fournie en début de texte:

Le gauchissement est un défaut de la tige qui commence à apparaître chez l'épinette noire à partir de la huitième semaine après le semis, alors qu'un plant qui n'a pas gauchi à la seizième semaine ne présentera généralement pas ce type de défauts de croissance par la suite. Le gauchissement apparaît à tout endroit de la tige ou de l'hypocotyle, le plus fréquemment juste au-dessus du milieu du plant et le moins souvent à l'hypocotyle. L'angle de la tige par rapport à la verticale est très variable, pouvant même dépasser les 180°. Un rythme de croissance élevé, de 15 à 20 mm/sem peut accentuer, réduire ou ne pas affecter le taux de gauchissement, dépendamment des facteurs en jeu.

Les résultats obtenus nous ont donc obligé à nuancer et étendre une définition qui était, somme toute, relativement précise au point de départ. Cette perte de spécificité vaut aussi pour les solutions données en début de texte pour réduire le problème du gauchissement. Même que certaines solutions préconisées à l'époque n'ont donné aucun résultat probant ou des résultats inverses à ce qui étaient attendus. La réduction, durant la période critique, de la croissance en hauteur de la tige en diminuant la fertilisation azotée, les arrosages et la température nocturne de l'air, tout en accroissant la ventilation était la solution avancée en 1984. Selon nos expériences, la réduction des températures nocturnes de l'air réduit certes l'importance de la vague de gauchissement, mais n'a que peu d'influence sur le taux de gauchissement final; d'autres résultats indiquent qu'un traitement avec la fertilisation azotée la plus forte réduit le pourcentage de plants qui gauchissent. L'ajout de CO<sub>2</sub> dans l'air, avec ou sans aide de la lumière artificielle, et l'utilisation de chocs mécaniques augmentent le taux de gauchissement. L'utilisation de hautes intensités lumineuses sans ajout de CO<sub>2</sub> est le seul facteur de l'environnement qui a réduit significativement le taux de gauchissement, sauf qu'il s'agit d'une solution particulièrement onéreuse et pas nécessairement rentable lorsqu'employée uniquement pour réduire le taux de gauchissement. Nous n'avons pas encore fait d'expérimentation poussée sur le sujet de la ventilation et de l'arrosage. Notre expérience de culture nous indique toutefois que la réduction des arrosages et la diminution de l'humidité relative sous abris devraient réduire le taux de gauchissement d'une production, sauf que ces critères ne sont pas encore précisés. En somme, la solution au gauchissement qui serait applicable commercialement n'a pas été trouvée pour l'instant. Les résultats des nombreuses expériences conduites jusqu'ici étant souvent contradictoires, il faudra surtout travailler à bien comprendre le phénomène du gauchissement de la tige d'un point de vue écophysologique, physiologique et anatomique.

De plus, il faut être conscient des retombées complémentaires potentielles, lesquelles peuvent même ne pas être directement reliées au gauchissement de la tige de l'épinette noire cultivées en récipients en serres. La poursuite de ce projet va permettre d'augmenter nos connaissances générales sur la croissance et le développement des plants cultivés en récipients, ce qui pourrait éventuellement permettre d'augmenter le nombre de plants produits par unité de surface et par unité de temps, d'où une diminution des coûts de production.



## REMERCIEMENTS

Nous aimerions remercier les différents organismes et personnes qui, en plus du Conseil de Recherche en Sciences Naturelles et en Génie et des Coopératives forestières de Ferland-Boilleau et de Girardville, ont participé à ce projet de recherche. La Fondation de l'UQAC, l'UQAC elle-même et le groupe de recherche en productivité végétale de l'UQAC ont complété le financement obtenu du CRSNG et des Coop. Les aviseurs scientifiques du projet sont M. Fernand Miron des Serres Coopératives de Guyenne pour les Coop et Dr. Charles-Gilles Langlois du MER pour le CRSNG. Le MER régional (région 02) et provincial (e.g. Centre de traitement des semences de Berthierville), ainsi que le bureau régional du Saguenay-Lac St-Jean du Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec ont aussi facilité la réalisation de certaines étapes de ce projet.

## BIBLIOGRAPHIE

- Barker, J.E. 1979. Growth and wood properties of *Pinus radiata* in relation to applied ethylene. N. Z. J. For. Sci., 9: 15-19.
- Biro, R.L. et M.L. Jaffe. 1984. Thigmomorphogenesis: Ethylene evolution and its role in the changes observed in mechanically perturbed bean plants. Physiol. plant., 62: 289-296.
- Bissonnette, J. 1987. Influence des combinaisons d'arrosages sur le gauchissement de la tige d'épinette noire *Picea mariana*. Rapport d'initiation à la recherche, Module de Biologie, UQAC. 21 p.
- Blain, J., A. Gosselin et M.J. Trudel. 1985. Influence de l'éclairage d'appoint fourni par des lampes à haute pression de vapeur au sodium (HPS) sur la croissance et la productivité du concombre de serre. P. 5-18 In Cahier des conférences, Journée d'information sur les cultures en serre, Université Laval et Conseil des Productions végétales du Québec, Québec, juin 1985.
- Boivin, C, A. Gosselin et M.J. Trudel. 1984. Potentiel de l'éclairage artificiel pour la production de tomates de serre. P. 69-90 In Cahier des conférences, Symposium international sur la serriculture, Université Laval et Conseil des Productions végétales du Québec, Québec, octobre 1984.
- Boyer, J.N. et D.B. South. 1984. A morphological comparison of greenhouse-grown loblolly pine seedlings with seedlings grown outdoors. Tree Planters Notes, 35 (3): 15-18.
- Brown, K.M. et A.C. Leopold. 1973. Ethylene and the regulation of growth in pine. Can. J. For. Res., 3: 143-145.
- D'Aoust, A.L. 1978. Influence de l'irradiation sur la croissance de plants d'épinette noire en contenants placés dans deux enceintes de culture. Can. J. For. Res., 8: 316-321.
- de Laat, A.M.M., D.C.C. Brandenburg and L.C. van Loon. 1981. The modulation of the conversion of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid to ethylene by light. Planta, 153: 193-200.
- Devlin, R.M. et F.H. Witham. 1983. Plant physiology. 4e éd. PWS Publishers, Boston. 577 p.
- Funsch, R.W., R.H. Mattson et G.R. Mowry. 1970. CO<sub>2</sub>-supplemented atmosphere increases growth of *Pinus strobus* seedlings. Forest Sci., 16: 459-460.
- Gepstein, S, et K.V. Thimann. 1980. The effect of light on the production of ethylene from 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid by leaves. Planta, 149: 196-199.

- Gosselin, A. et M.J. Trudel. 1984. Interactions between root-zone temperature and light levels on growth, development and photosynthesis of *Lycopersicon esculentum* Mill. cultivar 'Vendor'. Scientia Hort., 23: 313-321.
- Jackson, M.B. 1985. Ethylene and responses of plants to soil waterlogging and submergence. Ann.Rev.Plant Physiol., 66: 145-174.
- Kawase, M. 1979. Role of cellulase in aerenchyma development in sunflower. Amer. J. Bot., 66(2): 183-190.
- Langlois, C.G. 1984. La culture en récipients - croissance, conditions culturales et fertilisation. P. 36-64 In Deuxième atelier de travail sur la culture des semis en récipients. 139 p.
- Leopold, A.C., K.M. Brown et F.H. Emerson. 1972. Ethylene in the wood of stressed trees. HortScience, 7: 175.
- Margolis, H., et M. Campagna. 1987. L'enrichissement de l'air en CO<sub>2</sub>: un mode de fertilisation des plants en récipients. Affiche présentée au Carrefour'87 de la recherche forestière, Ste-Foy, le 26 et 27 mars 1987.
- Milhet, Y. et C. Costes. 1984. Effects of CO<sub>2</sub> enrichment on growth of leafy and coniferous young trees. Acta horticulturae, 162: 75-82.
- Miron, F. 1985. Communications personnelles. Serres coopératives de Guyenne.
- Morissette, S. 1986. Interaction de la lumière et de la température sur l'étiollement de l'épinette noire. Rapport d'initiation à la recherche, Module de Biologie, UQAC. 30 p.
- Telewski, F.W. et M.J. Jaffe. 1986a. Thigmomorphogenesis: Field and laboratory studies of *Abies fraseri* in response to wind or mechanical perturbation. Physiol. plant., 66: 211-218.
- Telewski, F.W. et M.J. Jaffe. 1986b. Thigmomorphogenesis: Anatomical, morphological and mechanical analysis of genetically different sibs of *Pinus taeda* in response to mechanical perturbation. Physiol. plant., 66: 219-226.
- Telewski, F.W. et M.J. Jaffe. 1986c. Thigmomorphogenesis: The role of ethylene in the response of *Pinus taeda* and *Abies fraseri* to mechanical perturbation. Physiol. plant., 66: 227-233.
- Telewski, F.W., A.H. Wakefield et M.J. Jaffe. 1983. Computer-assisted image analysis of tissues of ethrel-treated *Pinus taeda* seedlings. Plant Physiol., 72: 177-181.
- Tinus R.W. et S.E. McDonald. 1979. How to grow tree seedlings in containers in greenhouses. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. RM-60, 256 p.
- Weier, T.E., C.R. Stocking, M.G. Barbour et T.L. Rost. 1984. Botany: An introduction to plant biology. 6ième ed. John Wiley & Sons, New-York. 720 p.
- Yang, S.F. and N.E. Hoffman. 1984. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. Ann.Rev.Plant Physiol., 35:155-189.
- Yang, S.F., N.E. Hoffman, T. McKeon, J. Riov, C.H. Kao and K.H. Yung. 1982. Mechanism and regulation of ethylene biosynthesis. p. 239-248 In Plant growth substances 1982, ed. P.W. Wareing. Academic Press, N-Y
- Yelle, S., A. Gosselin et M.J. Trudel. 1987. Effets à long terme de l'enrichissement carboné sur la tomate de serre cultivée avec ou sans éclairage d'appoint. Can. J. Plant Sci., 67: 899-907.

